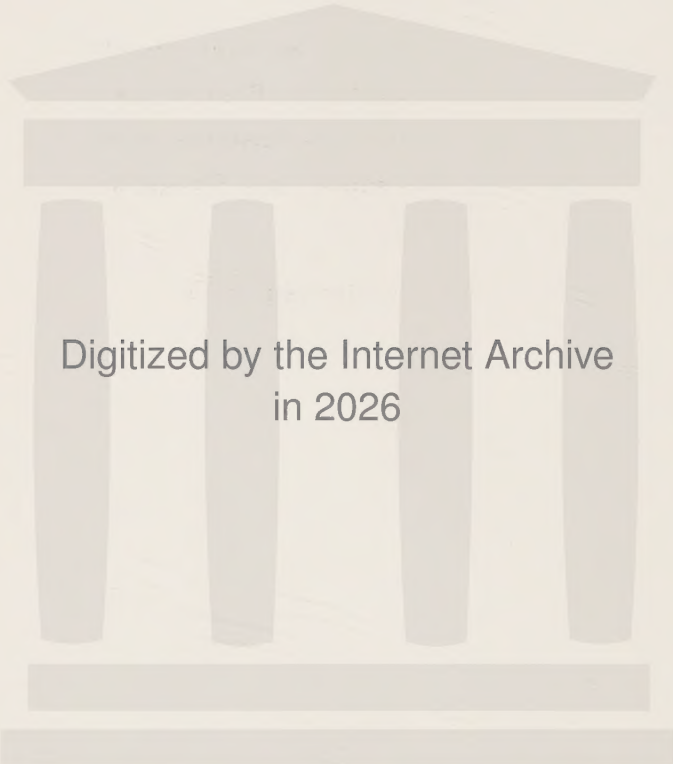


Möglichkeiten zur weiteren Herab-
setzung rückgestreuter Röntgenstrah-
len durch zusätzliche Absorberschich-
ten und Dosisabfall der Streustrah-
lung im Körper

vorgelegt von Manfred Zeuß

1960



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Medizinischen Klinik der Universität Erlangen

(Direktor: Prof. Dr. med. Demling)

Möglichkeiten zur weiteren Herabsetzung
rückgestreuter Röntgenstrahlen durch zusätzliche Ab-
sorberschichten und Dosisabfall der Streustrahlung
im Körper

Experimentelle Untersuchungen an verschiedenen Stoffen
im Energiebereich von 70 - 160 kV

=====

INAUGURAL - DISSERTATION

zur

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

der

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

der

FRIEDRICH ALEXANDER UNIVERSITÄT

ERLANGEN - NÜRNBERG

vorgelegt von

Manfred Zeuß

Zeyern

Tag der mündlichen Prüfung



Inhalt:

Seite

1. S T R E U S T R A H L U N G	
1.1. <u>Entstehung von Streustrahlung</u>	1
1.2. <u>Gefahren der Streustrahlung</u>	2
2. B I S H E R I G E E R G E B N I S S E U N D Z I E L D E R A R B E I T	
2.1. <u>Untersuchungen der Quantität und Qualität von verschiedenen Stoffen gestreuten Strahlungen</u>	3
2.2. <u>Thema dieser Arbeit</u>	3
3. G R U N D L A G E N D E R E I G E N E N U N T E R - S U C H U N G E N	
3.1. <u>Versuchsanordnung</u>	6
3.2. <u>Benutzte Strahlungen und ihre Messung</u>	6
3.2.1. Normalstrahlung	6
3.2.2. Primärstrahlung	7
3.2.2.1. Strahlenquelle	8
3.2.2.2. Fingerhut-Ionisationskammer und Siemens-Röntgen-Dosimeter	9
3.2.3. Streustrahlung	11
3.2.3.1. Simplex-Dosimeter	12
3.2.3.2. Streustrahlen-Ionisationskammer	12
3.3. <u>Schwächungszylinder zur Messung des Dosisabfalls im Gewebe</u>	13
3.4. <u>Streukörper</u>	14
4. M E S S E R G E B N I S S E	
4.1. <u>Quantität der gestreuten Röntgenstrahlung</u>	15
4.1.1. Quantitativer Vergleich der beiden Grund- körper blanker Ziegelstein und verputzte Wand	15 ^c

	Seite
4.1.2. Optimale Schichten zur Herabsetzung der Streustrahlenquantität auf verputzter Wand	16
4.1.3. Grundkörper Ziegelstein mit blankem Fe-Blech von 0,5 mm Stärke und weitere Herabsetzung der Streustrahlung durch Anbringung von:	18
verschiedenen Dicken Cellon	18
verschiedenen Dicken Aluminium	20
verschieden stark lackiertem Fe-Blech	21
Emailleblech	22
4.1.4. Zusammenfassung der Untersuchungen über die optimalen Schichten auf Grundkörper Ziegelstein mit blankem Eisenblech von 0,5 mm Stärke	24
4.2. <u>Dosisabfall von gestreuter Röntgenstrahlung</u>	25
4.2.1. Dosisabfall gestreuter Röntgenstrahlung von Grundkörper Ziegelstein mit blankem Fe-Blech mit ihren optimalen Materialdicken	26
4.2.2. Dosisabfall gestreuter Röntgenstrahlung von verputzter Wand mit ihren optimalen Schichten	32
5. Z U S A M M E N F A S S U N G	34
6. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S	35

1. S T R E U S T R A H L U N G

1.1. Entstehung von Streustrahlung

Trifft Röntgenstrahlung auf Materie, so können folgende Reaktionen ausgelöst werden:

"Klassische Streuung" nennt man den Vorgang bei dem das Strahlenquant beim Durchsetzen von Materie seine Richtung ändert. Es kommt dabei zu keinem Energieverlust.

Unter dem Phänomen der "Photoabsorption" versteht man die Abtrennung eines Photoelektrons durch Absorption eines Strahlenquanten. Das abgetrennte Elektron besitzt die gleiche Energie wie das Quant, das seine gesamte Energie abgegeben hat, vermindert um die zum Herauslösen aus dem Atomverband erforderliche "Abtrennungsarbeit". Dieser Effekt tritt vor allem bei Strahlenenergien unter 100 kV vorwiegend auf.

Bei Strahlenenergien über 100 kV wird der Photoeffekt in zunehmendem Maße durch die "Compton- oder Streuabsorption" abgelöst. Hier gibt das Quant nur einen Teil seiner Energie an ein Elektron ab. Die Restenergie wird einem langwelligeren und energieärmeren Quant übertragen.

Bei Energien über 1 MeV bilden sich bei der Absorption Elektronenpaare (Elektron und Positron). Die gebildeten Elektronenpaare lösen analog dem Photo- und Compton-Elektron eine Bremsstrahlung aus. Vereintigt sich ein Positron mit einem freien negativen Elektron, so resultiert daraus ein neues Strahlenquant, dessen Strahlungsenergie ebenfalls als Streustrahlung zu messen ist.

Alle gebildeten Sekundärelektronen erzeugen entlang ihrer Bahn ionisierte Atome. Wird das fehlende Elektron durch ein freies Elektron aus der Umgebung ersetzt, dann entsteht sogenannte "charakteristische Strahlung", die nochmals zur insgesamt gemessenen Streustrahlung beiträgt.

1.2. Gefahren der Streustrahlung

Die biologische Wirkung der Röntgenstrahlen führt zu somatischen und genetischen Schäden des menschlichen Körpers. Gewebszellen werden ja nach Stärke und Dauer der Bestrahlung in Bezug auf Stoffwechsel und Mitosetätigkeit vorübergehend oder dauernd gehemmt oder sie werden zerstört. Das rote Knochenmark der Wirbelkörper, des Sternums, der Rippen und des Schädels, die den Großteil der Blutbildungsstätten der roten Reihe enthalten, und die Keimdrüsen sind besonders strahlenempfindlich. Aus übermäßigen Bestrahlungen resultieren aplastische Anämien sowie Störungen am lymphatischen und retikulären System. Hartweg (1) stellte wenige Stunden nach Bestrahlung eine Rechtsverschiebung des Blutbildes fest, Boll, Koppe, Schaaf und Trautmann (2) beobachteten eine protrahierte Mitosetätigkeit der Erythropoese, abgesehen von den Kernanomalien (Auflösung der Kernmembran, verwaschene Kernstruktur, Kerndeformierung, Vakuolenbildung usw.) und Plasmaveränderungen (Vakuolenbildung, Schrumpfungsprozesse, grobkörnige Granulierung) der myeloischen Reihe. Zu den genetischen Schäden ist zu bemerken, daß Genforscher durch Beobachtung zahlreicher Generationen von verschiedenen Lebewesen (z.B. Drosophila, Mäuse usw.) festgestellt haben, daß durch Röntgenstrahlen die Mutationsrate erhöht wird.

Zwar waren die Versuchsobjekte, die diese biologische Veränderung zeigten, meist direkten Strahlungen ausgesetzt, gleiche Effekte ergaben sich aber auch bei der Einwirkung von Streustrahlung.

2. B I S H E R I G E E R G E B N I S S E U N D Z I E L D E R A R B E I T

2.1. Untersuchung der Quantität und Qualität von verschiedenen Stoffen gestreuten Strahlungen

Untersucht wurden bisher Stoffe niedriger Ordnungszahl, wie Paraffin und verschiedene Holzarten, ferner Baustoffe (Ziegelstein, Beton) und Metalle wie Aluminium, Eisen, Zinn und Blei. Die Untersuchungen von Tiefel (3) ergeben, daß Eisen als Streukörper eine minimale Streuung zeigte.

Leupold (4) konnte zeigen, daß sich Quantität und Qualität (= Härte) der gestreuten Strahlungen noch weiter herabsetzen läßt, wenn geschichtete Medien verwendet werden. Fe-Blech auf dem Grundkörper Ziegelstein verringerte die Streustrahlung im Vergleich zum Grundkörper wesentlich. Lackiertes Fe-Blech wiederum zeigte noch eine weitere Abnahme der Streustrahlung.

2.2. Thema dieser Arbeit

Als Aufgabe vorliegender Arbeit wurde die Ermittlung in Bezug auf Quantität und Qualität der Streustrahlung optimaler Stoffe und Materialstärken gestellt. Gemessen wurden bisher Quantität und Qualität der Streustrahlung, letztere in Form der Halbwertdicke. Die Halbwertdicke gibt aber nur ungenügend Auskunft über den Charakter der auftretenden Streustrahlung.

Interessant schien uns, den ganzen Verlauf der Tiefendosis zu verfolgen. Martin (5), Müller (6) und Lindell (7) befaßten sich bereits mit dieser Aufgabe. Aufschlußreich für die mögliche Schädigung des Knochenmarks ist es, die Anteile weicher und harter Strahlung, aus denen sich die Streustrahlung zusammensetzt, bei verschiedenen Röhrenspannungen zu ermitteln. Nur bei Kenntnis des durch die Streustrahlung in der Tiefe des Knochenmarkes erzeugten Dosis läßt sich die Strahlengefahr richtig ermitteln.

In der vorliegenden Arbeit wurde also die Aufgabe gestellt, die von Leupold (4) ermittelten geschichteten Streukörper nach Möglichkeit noch zu verbessern. Bei den Versuchen sollte dabei nicht allein die Quantität der Streustrahlung gemessen werden, sondern auch ihr Dosisabfall im Gewebe.

3. GRUNDLAGEN DER EIGENEN UNTERSUCHUNGEN

3.1. Versuchsanordnung

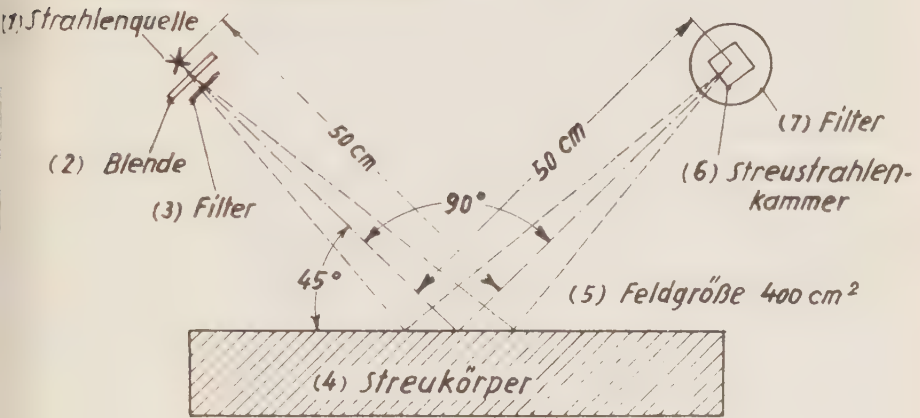


Abb. 1 Schema der Meßanordnung zur Ermittlung der Quantität und Qualität gestreuter Röntgenstrahlung

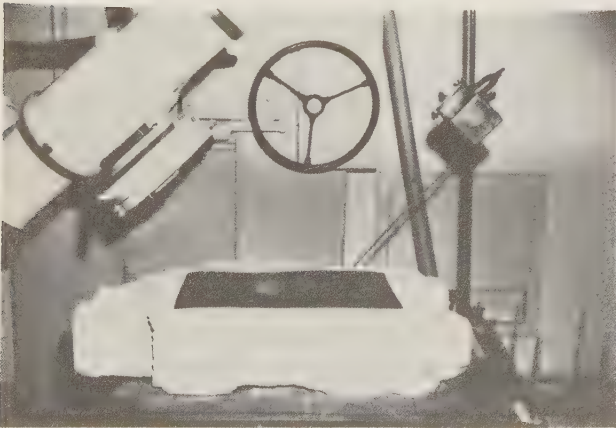


Abb. 2 Bildliche Darstellung obiger Meßanordnung

Vom Fokus der Röntgenröhre (1) trifft der Zentralstrahl auf den Streukörper (4) unter einem Winkel von 45° (s. Abb. 1 und 2). Mittels einer Blende (2) wird für den Durchtritt eines Strahlenkegels Raum gelassen, der in 50 cm Abstand vom Fokus auf dem Streukörper eine Fläche (5) von 400 cm^2 ausstrahlt. Die Streustrahlung wird in einem Abstand von 50 cm von der Mitte des Streufeldes mit einer Ionisationskammer (6) gemessen. Durch ein auswechselbares Filter (3) wurde für jede Röhrenspannung "Normalstrahlung" unter Berücksichtigung der Eigenfilterung der Röntgenröhre erzeugt. Die Stärke des benützten Streukörpers (4) kann bei den verwendeten Strahlungen als "unendlich dick" angesehen werden. Zur Ermittlung des Dosisabfalls im Gewebe (Streustrahlenqualität) fand ein beidseitig offenes zylindrisches Filter (7) aus Kunststoffolie Verwendung. Dieses ist annähernd gewebeäquivalent und erlaubt Dosisabfallmessungen bis in die äußersten Schichten der Haut, da Filterdicken bis zu 0,25 mm möglich sind. Die Herstellung von entsprechend dünnwandigen Wachszyindern stößt dagegen bereits bei 2mm auf technische Schwierigkeiten.

3.2. Benutzte Strahlungen und ihre Messungen

3.2.1. Normalstrahlung

Für jede Versuchsreihe wurden "Normalstrahlungen" verwendet. Nach Wachsmann (9) wird als Normalstrahlung diejenige Strahlung charakterisiert, die so gefiltert ist, daß ihre Halbwertdicke der Halbwertdicke einer monochromatischen Strahlung identisch ist, deren Ener-

gie halb so groß wie die verwendete Röhrenspannung. Für die benötigten Energien wurde dementsprechend gefiltert:

Röhrenspannung	Filterung
70 kV	3,75 mm Al
100 kV	0,26 mm Cu
130 kV	0,51 mm Cu
160 kV	0,91 mm Cu

3.2.2. Primärstrahlung

Die Dosisleistungen wurden für die Röhrenspannungen 70, 100, 130 und 160 kV mit Hilfe einer Fingerhutkammer in 50 cm Fokusabstand festgestellt.

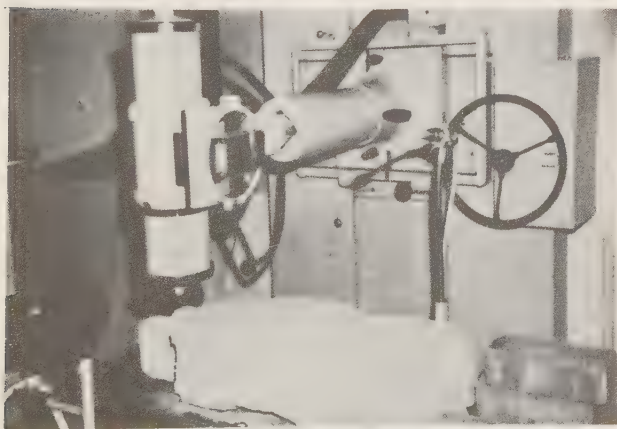


Abb. 3 Meßanordnung zur Bestimmung der Dosisleistung der Primärstrahlung

Die so gemessene Dosisleistung ist dann der Strahlung identisch, die unter 45° Neigung auf den Streukörper fällt und die Streustrahlung erzeugt. Die ermittelte Streustrahlung wurde stets auf die gemessene Dosisleistung der Primärstrahlung bezogen und in Promille dieser angegeben.

3.2.2.1. Strahlenquelle

Zur Erzeugung der Röntgenstrahlung des Energiebereiches von 70 - 160 kV fand ein Siemens-Stabilipan-Röntgenapparat für mittelharte Röntgenstrahlen, regelbar für Röhrenspannungen von 70 - 200 kV und für einen Röhrenstrom bis 20 mA in Stufen von 2 mA regelbar, Verwendung (s. Abb. 4 und 5).

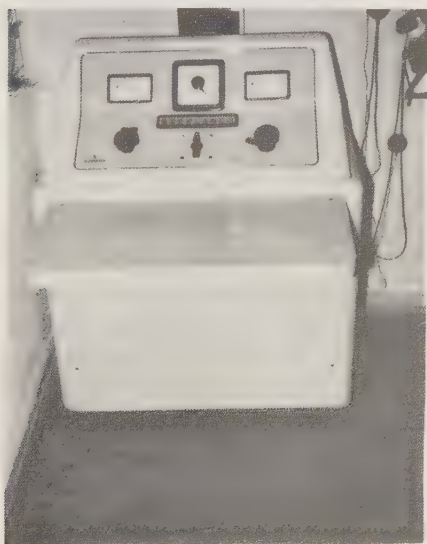


Abb. 4 Schaltpult des Siemens-Stabilipan-Röntgenapparates

Die Messungen wurden ausgeführt bei 70, 100, 130 und 160 kV Röhrenspannung und einer Stromstärke von 4 mA.



Abb. 5 Röhre des Siemens-Stabilipan-Röntgenapparates

Die Ölhaube TH 220 f wird von einem speziellen Kühlaggregat gekühlt. Die Eigenfilterung der Therapie-Ölhaube mit der Röntgenröhre ist 2,0 mm Al äquivalent.

3.2.2.2. Fingerhut-Ionisationskammer und Siemens-Röntgen-Dosimeter

Die Fingerhut-Ionisationskammer besteht aus luftäquivalentem Material.

Innerhalb der Kammer wird die Luft durch die einfallende Primärstrahlung ionisiert, die Ionen wandern zu den entgegengesetzt geladenen Elektroden. Der auf eine bestimmte Spannung aufgeladene Kondensator des Siemens-Röntgen-Dosismessers, der mit der Fingerhutkammer verbunden ist, erfährt dadurch einen Ladungsverlust, der proportional der eingestrahlten Primärstrahlendosis ist.

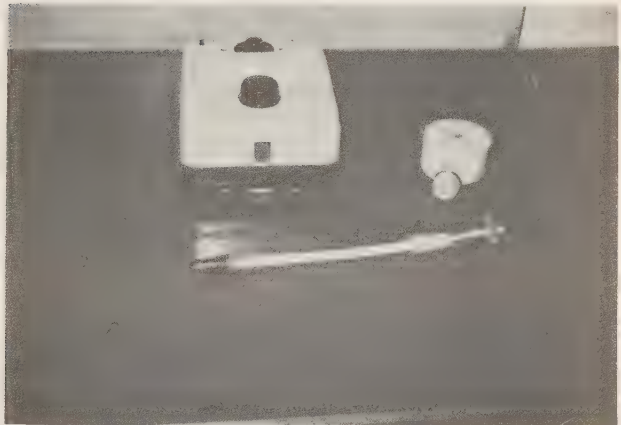


Abb. 6 Siemens-Röntgen-Dosimeter,
Fingerhut-Ionisationskammer
und Radium-Standard

Das Siemens-Röntgen-Dosimeter ist für das gesamte Gebiet der Röntgen- und Kobalt ⁶⁰-Therapie verwendbar. Mittels Lichtzeiger kann die Röntgendosis direkt ohne Parallaxenfehler abgelesen werden. Die Kalibrierung des Dosimeters erfolgt mittels eines Radium-Standards. Dies ist eine Ioni-

sationskammer mit fest eingebautem
radioaktivem Präparat.

3.2.3. Streustrahlung

Trifft Röntgenstrahlung auf Materie, so entsteht Streustrahlung. Der auf den Streukörper einfallende Zentralstrahl der Primärstrahlung hat im Modellversuch zu diesem eine Neigung von 45° . Die Streustrahlendosis ist von Röntgenspannung, Feldgröße und Abstand des Meßortes von der die Streustrahlung erzeugenden Fläche abhängig. Die Feldgröße des Streukörpers betrug 400 cm^2 . Der Abstand von 50 cm zum Streukörper bei einem Neigungswinkel von 45° blieb immer konstant. Sämtliche Messungen erfolgten frei in Luft. Die erhaltenen Dosisleistungen der Streustrahlung wurden auf die Primärstrahlung bezogen. Zur Feststellung des Dosisabfalls der gestreuten Röntgenstrahlung im Gewebe dienten dieselben Versuchsbedingungen. Es wurde hier die Streustrahlenkammer beweglich mit einem Mantel aus Polypropylen-Folie umgeben (s. Abb. 7), dessen Stärke von 0,25 - 40 mm variierte.

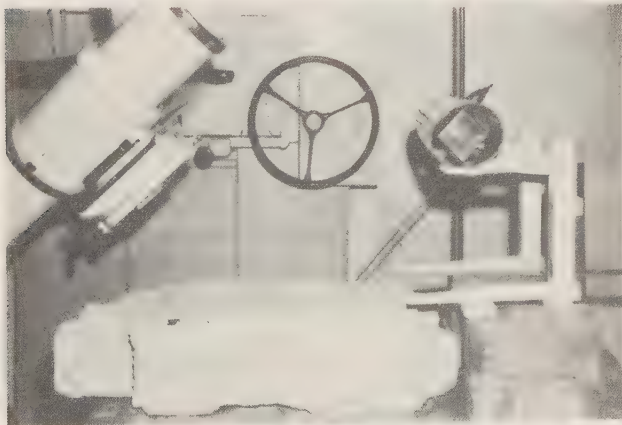


Abb. 7 Meßanordnung zur Ermittlung des Dosisabfalls der Streustrahlung im Gewebe

3.2.3.1. Simplex - Dosimeter

Die Streustrahlung wurde mit dem elektronisch arbeitenden Simplex-Dosimeter (s. Abb. 8) der Physikalisch-Technischen Werkstätten in Freiburg durchgeführt:



Abb. 8 Simplex-Dosimeter mit Spezialzählwerk, Streustrahlenkammer, Meßkopf und Eichnormal

Der Zeiger der eingebauten Skala zur Teildosisanzeige wandert in der Zeit zwischen zwei Zählersprüngen von Null bis zum Skalenende. Das Gerät läßt damit die Ablesung genauer Dosiswerte auch bei geringer Dosisleistung zu.

3.2.3.2. Streustrahlen-Ionisationskammer

Zur Ermittlung der Streustrahlung diente eine Streustrahlen-Ionisationskammer guter Energieunabhängigkeit

(s. Abb. 8). Durch ihr großes Volumen arbeitete sie noch bei sehr geringen Streustrahlendosen.

3.3. Schwächungszylinder zur Messung des Dosisabfalls im Gewebe

Zur Ermittlung des Dosisabfalls im Gewebe werden folgende Substanzen, da sie annähernd gewebe-äquivalent sind, bevorzugt. In der dermatologischen Röntgentherapie ist das Angebot sehr reichhaltig. Proppe (6) und Schirren (7) verwendeten reines Paraffin in fester Form, Schirren Paraffin und zusätzlich 20 % Magnesiumoxyd, Graul (8), Schreus (9) und Wachsmann (10) Siemens-Spezialwachs. Oosterkamp (11) Bakelit, Keim (12) eine Mischung aus Gelatine, Glycerin und Wasser, Engman (13), Weber (14) und Elle (15) Polystyrene. In der Tiefentherapie werden dagegen Dosisabfallmessungen größtenteils am Wasserphantom durchgeführt.

In unserem Versuch wurde die Bestimmung des Dosisabfalls im Gewebe mit Polypropylen-Flachfolie (s. Abb. 7) vorgenommen. Sie ist in einer definierten Dicke von 0,03 mm im Handel erhältlich. Das freundlicherweise von der Firma Stöhr in Zeyern zur Verfügung gestellte Material bezeichnet sich im Handel als "Vistalux" - Flachfolie und wird von der Firma Etimex Stuttgart hergestellt. Die Zylinder umschließen mit einer lichten Weite von etwa 12 cm die Streustrahlenkammer. Ihre Schichtdicke reicht von 0,25 - 40 mm (0,25 - 0,5 - 1 - 2 - 5 - 10 - 20 - 40 mm).

3.4. Streukörper

Als Grundkörper dienten blanker Ziegelstein und verputzte Wand, wobei der Putz eine Stärke von 10 mm aufwies. Als Auflagekörper wurden verschiedene Dicken von Fe-Blech, verschieden stark lackiertes Fe-Blech, Emailleblech, Aluminium und Cellon verwendet. Es sind alles Materialien, die, falls sie sich für eine merkliche Herabsetzung der Streustrahlung in den Röntgendiagnostik und -therapieräumen sorgen würden, was die finanzielle Seite betrifft, noch wirtschaftlich wären.

4. MESSERGEBNISSE

4.1. Quantität der gestreuten Röntgenstrahlung

Zu Beginn der Arbeit galt es, eine bezüglich Quantität der Streustrahlung günstige Materialauswahl zu treffen. Zur Ermittlung der optimalen Schichten wurden folgende Anordnungen untersucht:

4.1.1. Quantitativer Vergleich der beiden Grundkörper per blanker Ziegelstein und verputzter Wand

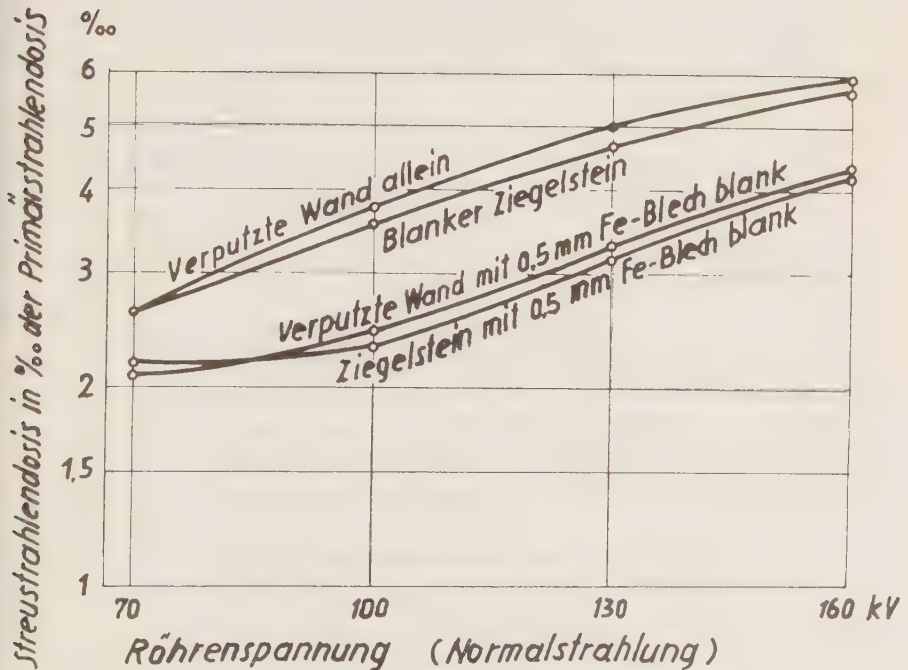


Abb. 9 Vergleich der Streustrahlenquantität zwischen Grundkörper blanker Ziegelstein und verputzte Wand - mit und ohne blankem Fe-Blech von 0,5 mm Stärke

Ohne blankes Fe-Blech von 0,5 mm Stärke wird mit Ziegelstein eine etwas niedrigere Streustrahlendosis gemessen als mit verputzter Wand. Das Fe-Blech hält bis etwa 100 kV die Streustrahlung sehr niedrig, um dann in oberen Bereichen steil anzusteigen.

Ein Vergleich der unverputzten mit der verputzten Wand läßt erkennen, daß fast alle Werte bei ihr noch etwas höher liegen mit folgenden Ausnahmen:

Bei 70 kV erzeugen verputzte Wand und Ziegelstein die gleiche Streustrahlung. Mit Fe-Blech unterschreiten die Werte von verputzter Wand unterhalb 90 kV sogar diejenigen von Ziegelstein. Bei härteren Strahlungen kommt es bis etwa 110 kV zu einem Anstieg, um sich bei noch höheren Röhrenspannungen den Werten von Ziegelstein wieder zu nähern.

4.1.2. Optimale Schichten zur Herabsetzung der Streustrahlenquantität auf verputzter Wand

Im Ganzen gesehen erzielt unter den ausgewählten Materialien Emailblech ein Minimum an Streustrahlung auf verputzter Wand (s. Abb. 10). Als schlechtestes Material stellte sich Cellon in einer Dicke von 0,5 mm heraus. Seine Streustrahlung liegt noch über der von verputzter Wand. Etwas weniger Streustrahlung als diese gibt im unteren Energiebereich bis etwa 110 kV Aluminium in einer Dicke von 0,1 mm. Über 110 kV sind die Dosisabfallkurven von verputzter Wand und verputzter Wand mit 0,1 mm Aluminium identisch. Eine merkliche Verminderung der Streustrahlung bringt erst 0,5 mm Fe-Blech. Noch besser ist 0,3 mm Lackblech. Einen

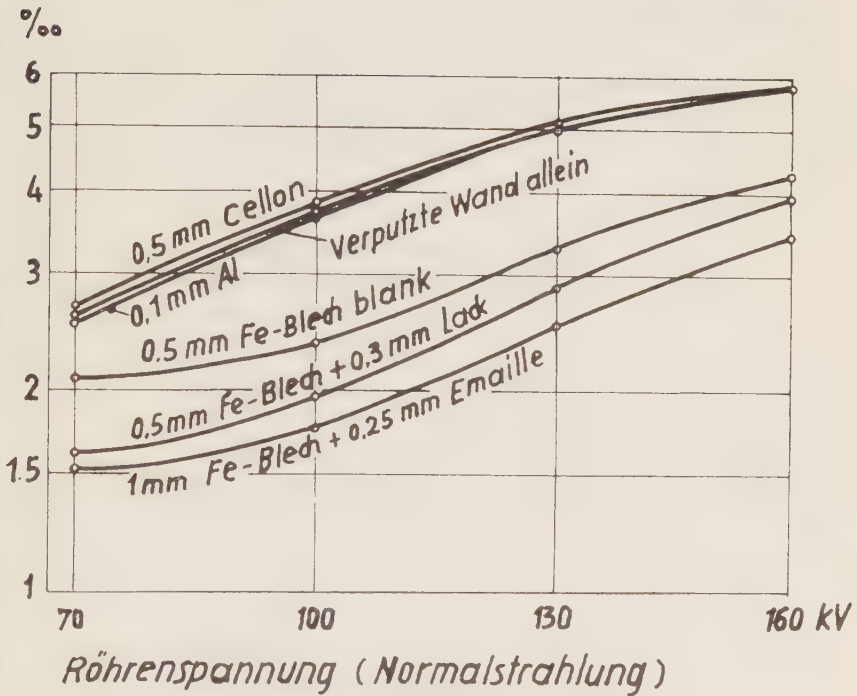


Abb. 10 Quantität der Streustrahlung optimaler Schichten auf verputzter Wand

Streustrahlenrückgang auf 58 % bei 70 kV Röhrenspannung, auf 50 % bei 130 kV und auf 59 % bei 160 kV erzielte schließlich Emailleblech, wenn man die Streustrahlung von verputzter Wand allein 100 % nennt. Es ist somit das beste Material der Versuchsreihe in Bezug auf streustrahlenarme Stoffe auf verputzter Wand.

Im Folgenden wurde auf den Grundkörper blanker Ziegelstein aus technischen Gründen 0,5 mm Fe-Blech angebracht. Dies beeinträchtigt jedoch nicht die Ergebnisse für lackiertes Fe-Blech und Emailleblech, da nach Tiefel (3) blankes Fe-Blech in einer Dicke von 0,5 - 1,5 mm die gleiche Streustrahlendosis aufweist.

4.1.3. Grundkörper Ziegelstein mit blankem Fe-Blech von 0,5 mm Stärke und weitere Herabsetzung der Streustrahlen durch Anbringung von:

verschiedene Dicken Cellon

verschiedene Dicken Aluminium

verschieden stark lackiertes Fe-Blech

Emailleblech

Die Ergebnisse in der Meßreihe der einzelnen Cellonschichten fielen nicht sehr zufriedenstellend aus. Im Allgemeinen kann man jedoch sagen, daß Cellonschichten von 0,5 mm Dicke zur Herabsetzung der Streustrahlung (d. h. zur Abschirmung der vom Eisen ausgehenden charakteristischen Strahlung) am besten geeignet sind. Dickere Cellonschichten (s. Abb. 11) geben dann ihrerseits zur Entstehung zusätzlicher Streustrahlung Anlaß.

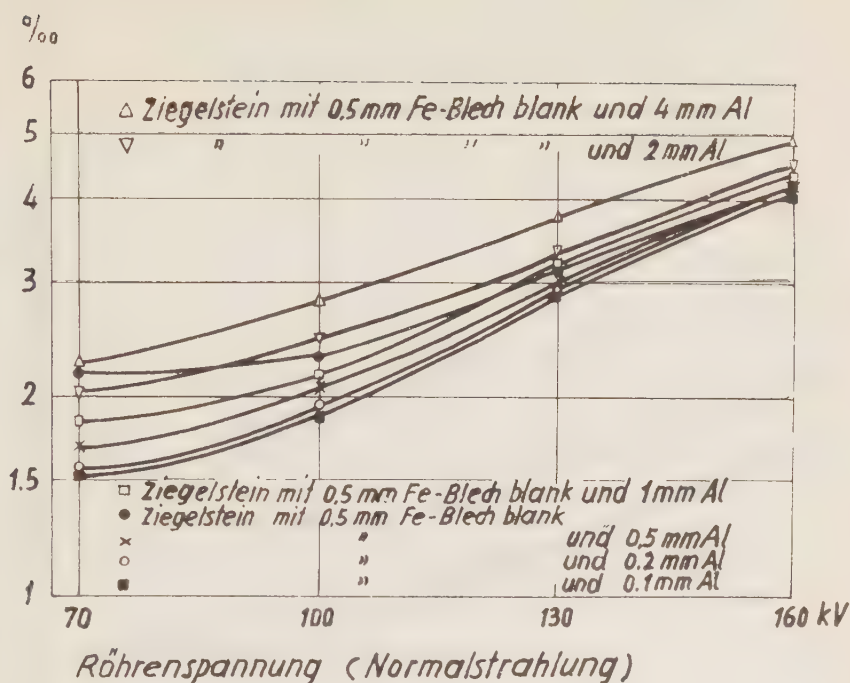


Abb. 12 Quantität gestreuter Röntgenstrahlung des Grundkörpers Ziegelstein mit blankem Fe-Blech von 0,5 mm Stärke bei der Anbringung zusätzlicher Al-Schichten von 0,1 - 4 mm Dicke

Das Minimum an Streustrahlung liegt bei einer Aluminiumdicke von 0,1 mm. Bei dieser Dicke wurde die Streustrahlung bei 70 kV Röhrenspannung auf 72 % verringert, wenn man die Streustrahlung des Grundkörpers Ziegelstein mit blankem Fe-Blech 100 % nennt. Knapp darüber ist auch der Wert von 0,2 mm Aluminium zu finden. Allgemein gesehen ist die Zunahme

der Schichtdicke einer Zunahme der Streustrahlung proportional. 2 und 4 mm Aluminium zeigen eine höhere Streustrahlung als der Grundkörper.

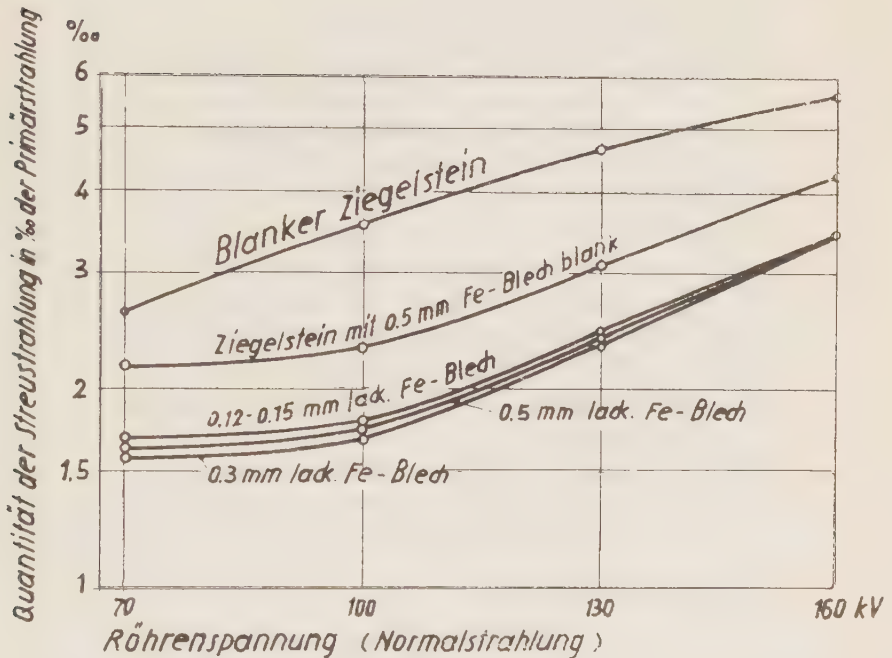


Abb. 13 Quantität gestreuter Röntgenstrahlung des Grundkörpers Ziegelstein mit blankem Fe-Blech von 0,5 mm Stärke und weitere Herabsetzung der Streustrahlung durch Lackschichten verschiedener Dicke

Zu Vergleichszwecken wurde die jeweilige Dosis für den Grundkörper allein, sowie Grundkörper plus blankes Fe-Blech 0,5 mm eingezeichnet.

Setzt, wie in früheren Arbeiten festgestellt wurde (Tiefel, Leupold), das blanke Fe-Blech von 0,5 mm Stärke die Streustrahlung wesentlich herab, so bringt eine zusätzliche Lackschicht eine weitere Abnahme der Streustrahlung. Das Optimum wird bei dem mit 0,3 mm Lackschicht überzogenen Fe-Blech erreicht. Es folgen die Lackierungen 0,5 mm und 0,12 - 0,15 mm. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen dicken Lackschichten sind bei den weicheren Strahlungen etwas größer als bei den härteren (vgl. Abb. 13). Annähernd parallel zum Kurvenverlauf von lackiertem Fe-Blech läuft die des Grundkörpers. Bei 70 kV Röhrenspannung beträgt die Streustrahlung des lackierten Fe-Blech 73- 78 %, wenn man die Streustrahlung des Grundkörpers mit blankem Fe-Blech 100 % nennt. Bei 160 kV wurde eine Abnahme der frei in Luft gemessenen Streustrahlung auf 83 % erzielt.

Die wohl optimalste Schicht der Versuchsreihe, die am wenigsten Streustrahlung erzeugt, ist Emailblech. Die Herabsetzung der Streustrahlung durch das Emailblech beträgt bei 70 kV und bei 160 kV 76,5 % (s. Abb. 14).

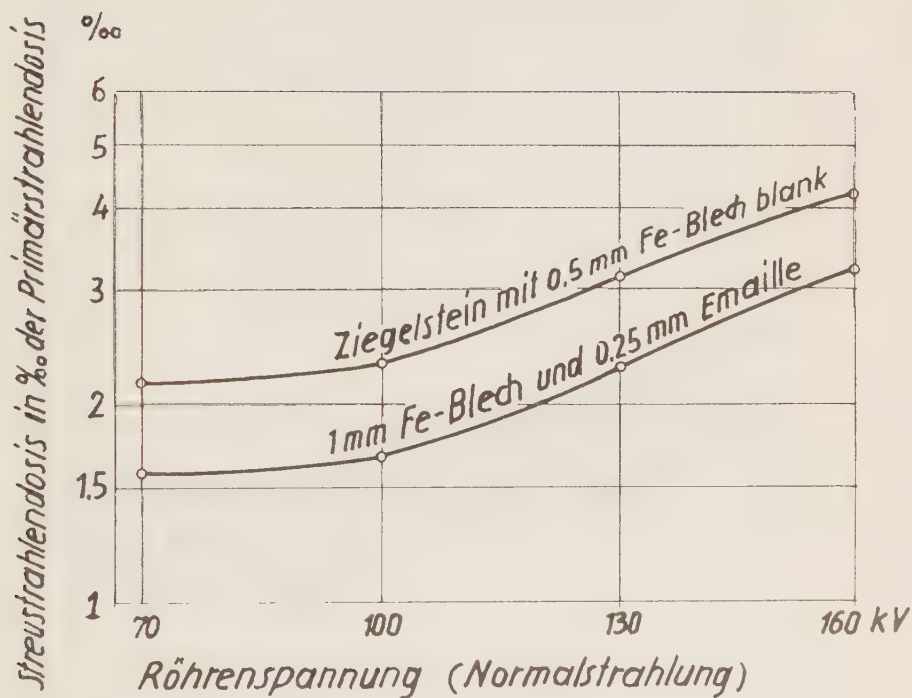


Abb. 14 Quantität der Streustrahlung des Grundkörpers Ziegelstein mit blankem Fe-Blech von 0,5 mm Stärke und zusätzlichem Emailleblech (1 mm Fe; 0,25 mm Emaille)

4.1.4. Zusammenfassung der Untersuchungen über die optimalen Schichten auf Grundkörper Ziegelstein mit blankem Fe-Blech von 0,5 mm Stärke.

Untersucht wurden folgende Schichten:

- 0,5 mm Cellon
- 0,1 mm Aluminium
- 0,3 mm lack. Blech (Blechstärke 0,5 mm)
- Emaileblech 1,25 mm (davon 1,0 Fe; 0,25 Emaille)

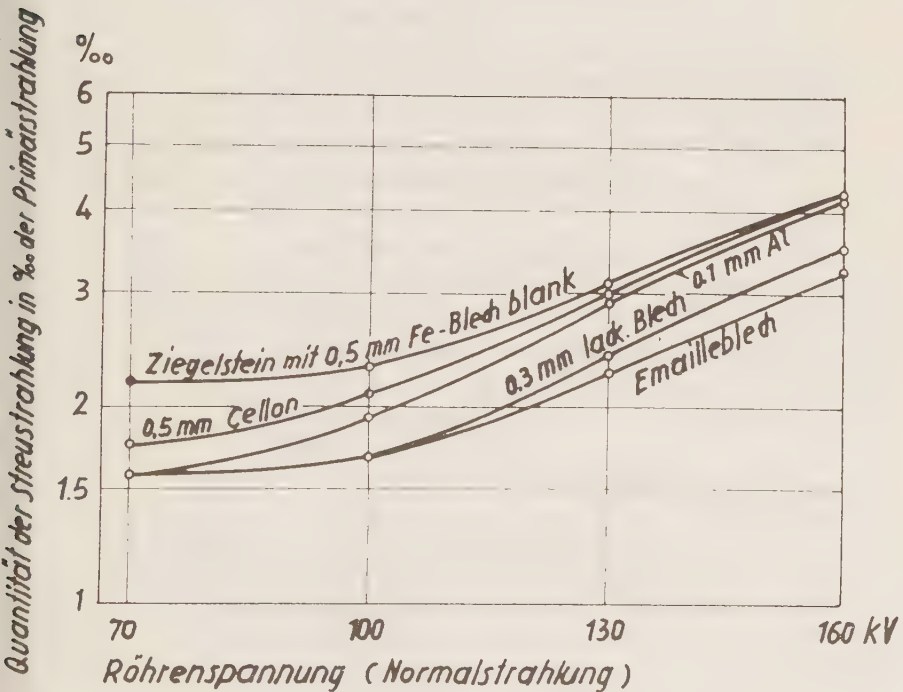


Abb. 15 Vergleich der Untersuchungen über die optimalen Schichten auf Grundkörper Ziegelstein mit blankem Fe-Blech von 0,5 mm Stärke

Mit zunehmender Röhrenspannung nähern sich 0,5 mm Cellon und 0,1 mm Aluminium den Werten von Grundkörper Ziegelstein mit 0,5 mm Fe-Blech. Bei 160 kV hat 0,5 mm Cellon die Streustrahlung von Ziegelstein und 0,5 mm Fe-Blech erreicht. Dicht darunter liegt 0,1 mm Aluminium.

Weit besser verhalten sich 0,3 mm lack. Fe-Blech und Emailleblech. Bei 70 kV Röhrenspannung geht ihre Streustrahlung auf 72 % zurück. Bei höheren Energien (ab 100 kV - 160 kV) ist ihre Streustrahlung noch etwas geringer als die übrigen Materialien. So ist bei 160 kV eine auf 82 % bei 0,3 mm lack. Fe-Blech und auf 77 % bei Emailleblech verringerte Strahlung verständlich.

Sämtliche Stoffe liefern insbesondere in niedrigen Energiebereichen im Vergleich zum Grundkörper mit blankem Fe-Blech eine geringere Streustrahlung. Günstige Werte liefert vor allem das Emailleblech, gute aber auch das mit einer Lackschicht von 0,3 mm überzogene Fe-Blech.

4.2. Dosisabfall der gestreuten Röntgenstrahlung

Durch die Messung der Quantität der Streustrahlung wurde für gewisse optimale Schichten ihre Oberflächendosis ermittelt. Da die Streustrahlung aber auch in tiefere Gewebsschichten eindringt, ist es interessant zu wissen, welche dieser optimalen Schichten im Gewebe den größten Dosisabfall zeigt und damit den größtmöglichen Schutz in dieser Versuchsreihe für eine Schädigung des roten Knochenmarks durch Streustrahlung bietet, der Ärzte und Personal in der Röntgendiagnostik und -therapie ausgesetzt sind.

4.2.1. Dosisabfall der gestreuten Röntgenstrahlung
von Grundkörper Ziegelstein mit blankem Fe-
Blech mit ihren optimalen Materialdicken

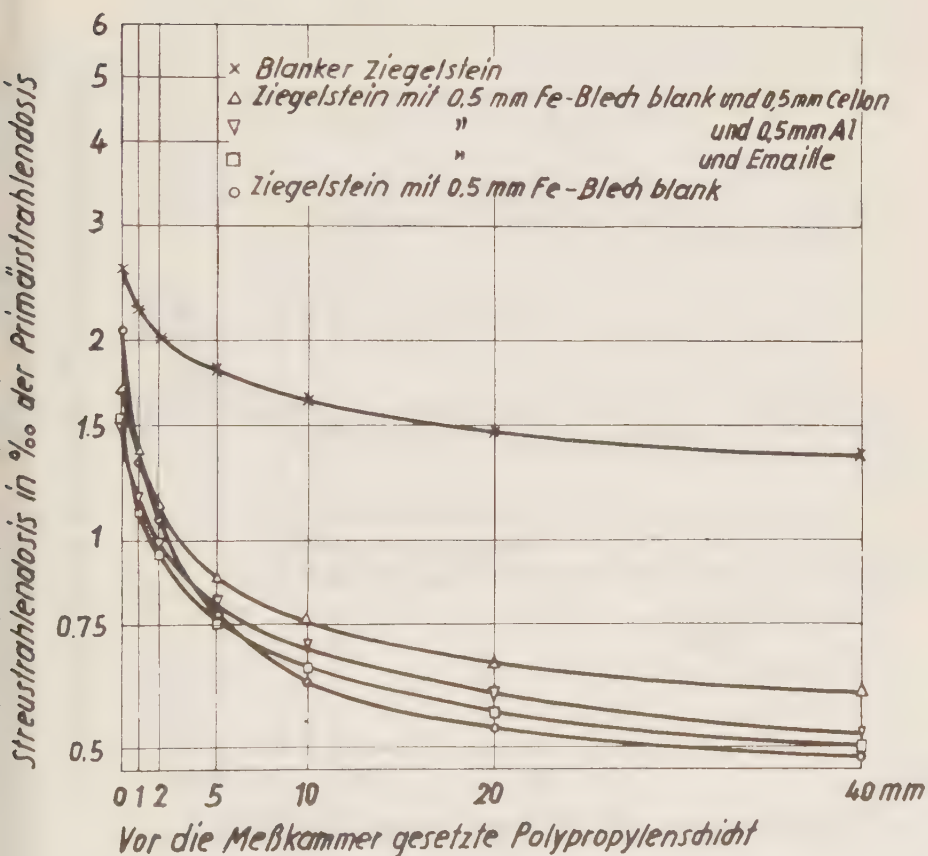


Abb. 16 Dosisabfall der gestreuten Röntgen-
strahlung:
Grundkörper Ziegelstein mit blankem
Fe-Blech von 0,5 mm Stärke und opti-
male Schichten bei 70 kV Röhrenspan-
nung

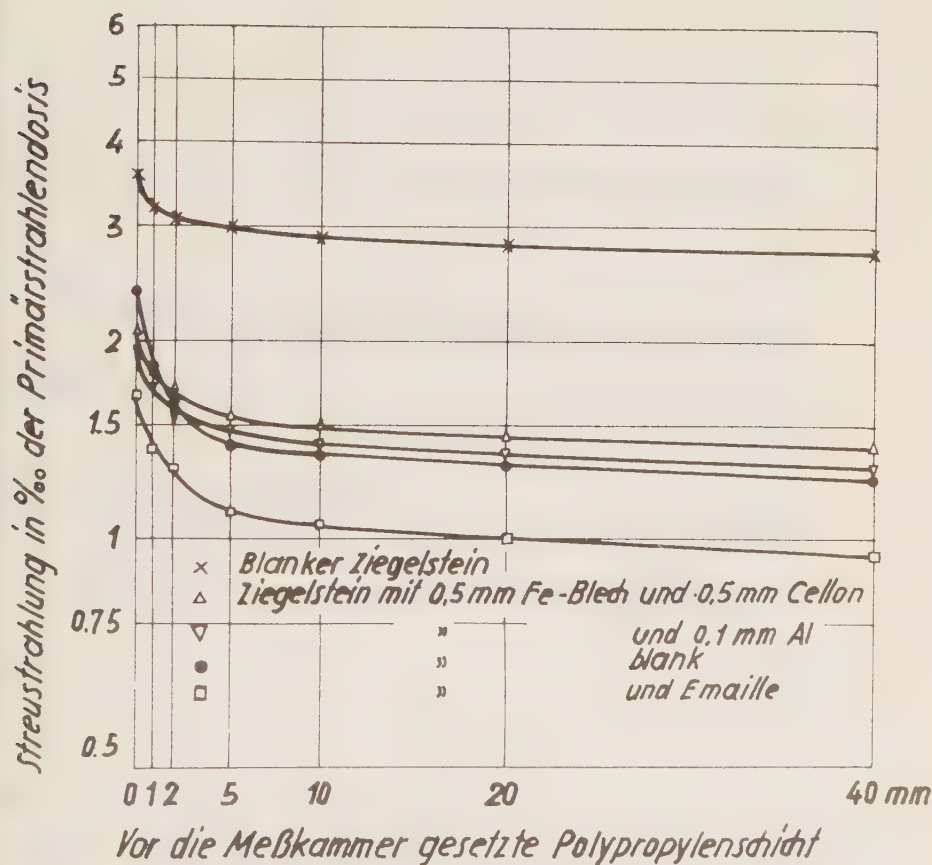


Abb. 17 Dosisabfall gestreuter Röntgenstrahlung:
Grundkörper Ziegelstein mit blankem Fe-Blech von 0,5 mm Stärke und optimale Schichten bei 100 kV Röhrenspannung

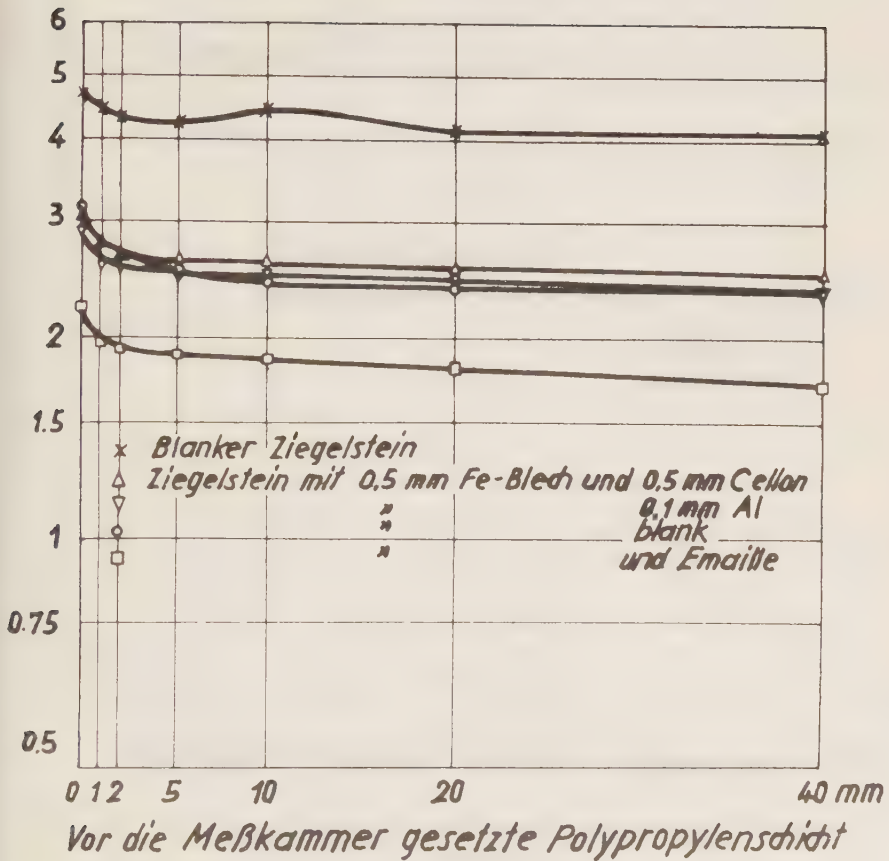


Abb. 18 Dosisabfall gestreuter Röntgenstrahlung:
Grundkörper Ziegelstein mit blankem Fe-Blech von 0,5 mm Stärke und optimale Schichten bei 130 kV Röhrenspannung

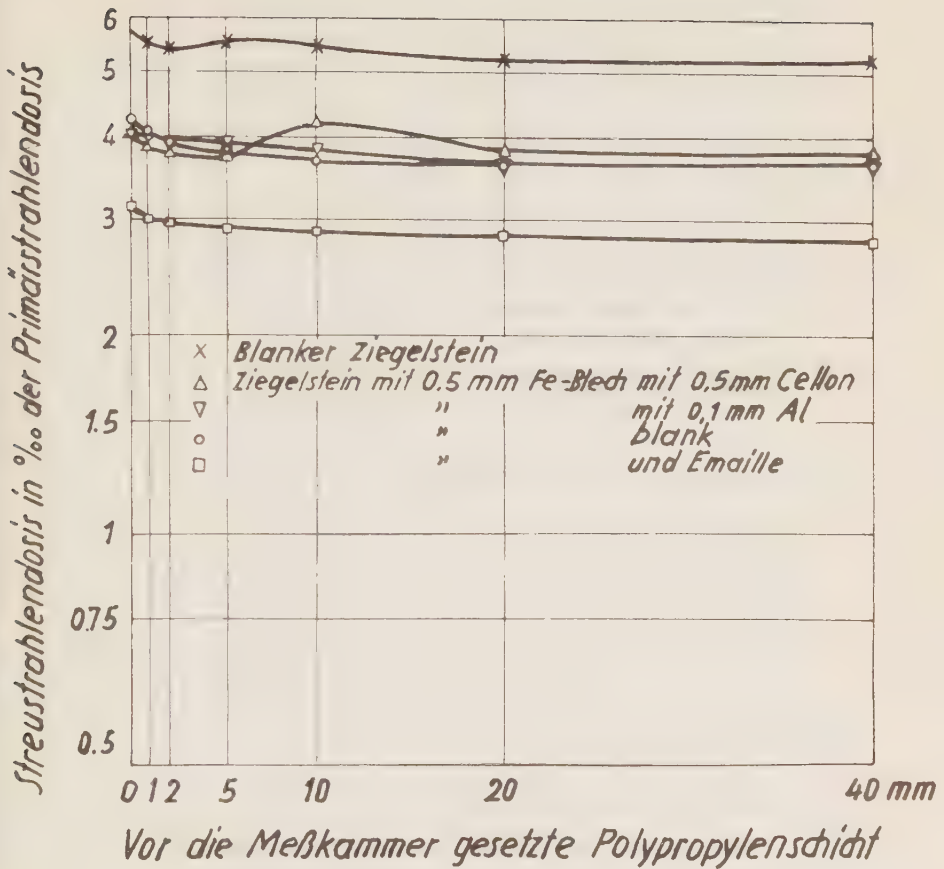


Abb. 19 Dosisabfall gestreuter Röntgenstrahlung:
Grundkörper Ziegelstein mit blankem Fe-Blech von 0,5 mm Stärke und optimale Schichten bei 160 kV Röhrenspannung

Ausgehend von der Eigenfilterung der Streustrahlenkammer (Wanddicke etwa 0,5 mm wasseräquivalentes Material) wurden Dosisabfallmessungen bis zu einer Tiefe von 40 mm gemessen. Es zeigten sich folgende Ergebnisse:

Bei einer Röhrenspannung von 70 kV (s. Abb. 16) ist der Dosisabfall von Grundkörper Ziegelstein mit Fe-Blech von 0,5 mm Stärke ohne weitere Materialauflage am stärksten, d. h. daß die erzeugte Streustrahlung hier am weichsten ist. Es folgen der Reihe nach Emailleblech - 0,1 mm Aluminium - 0,5 mm Cellon. Den geringsten Dosisabfall, d. h. die härteste Streustrahlung, weist blanker Ziegelstein auf.

In einer Gewebetiefe von 40 mm beträgt bei 70 kV die Streustrahlendosis bei Grundkörper Ziegelstein mit blankem Fe-Blech von 0,5 mm Stärke noch 23 %, bei Emaille 32 %, bei 0,1 mm Aluminium 33 %, bei 0,5 mm Cellon 33,5 % und beim blanken Ziegelstein 52 % der Oberflächendosis. Bei einer Röhrenspannung von 100 kV beträgt die Streustrahlung (s. Abb. 17) bei Emaille 58 %, bei Grundkörper Ziegelstein mit blankem Fe-Blech von 0,5 mm Stärke geht sie auf 52 % zurück, bei 0,1 mm Aluminium auf 66 %, bei 0,5 mm Cellon auf 66 % und bei blankem Ziegelstein auf 76 %.

Bei 130 kV (s. Abb. 18) sind die Werte für Emaille in 40 mm Gewebetiefe 77 %, für Grundkörper Ziegelstein mit 0,5 mm Fe-Blechauflage 75 %, für 0,1 mm Aluminium 82 %, für 0,5 mm Cellon 78 %, für blanken Ziegelstein 89 %. Die Streustrahlendosis von 160 kV Röhrenspannung (s. Abb. 19) betrug für Emaille 87 %, für

Grundkörper Ziegelstein mit blankem Fe-Blech von 0,5 mm Stärke 87 %, für 0,1 mm Aluminium 92 %, für 0,5 mm Cellon 91 % und für blanken Ziegelstein 92 %.

Weshalb die Tiefendosis bei den untersuchten Strahlungen von 130 und 160 kV (vgl. Abb. 18 und 19) in 5 bis 10 mm Gewebetiefe bei gewissen Stoffen ein kleines Maximum aufweist, konnte im Rahmen vorliegender Arbeit nicht geklärt werden und ist wohl durch die gewählte Meßanordnung bedingt.

4.2.2. Dosisabfall gestreuter Röntgenstrahlung von verputzter Wand mit ihren optimalen Schichten

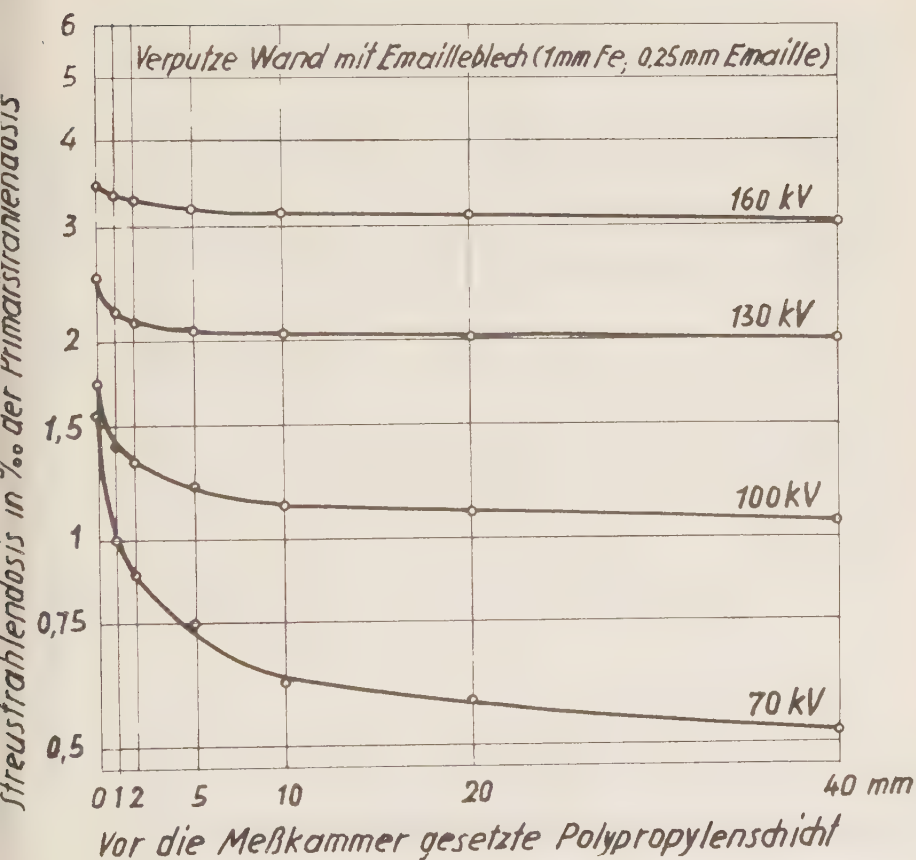


Abb. 20 Dosisabfall der Streustrahlung:
Verputzte Wand mit Emailleblech

Bei 70 kV Röhrenspannung beträgt die Streustrahlendosis in 40 mm Gewebetiefe für verputzte Wand mit Emailleblech (1mm Fe; 0,25 mm Emaille) 33 %, für 100 kV 60 %, für 130 kV 80 % und für 160 kV 89 %.

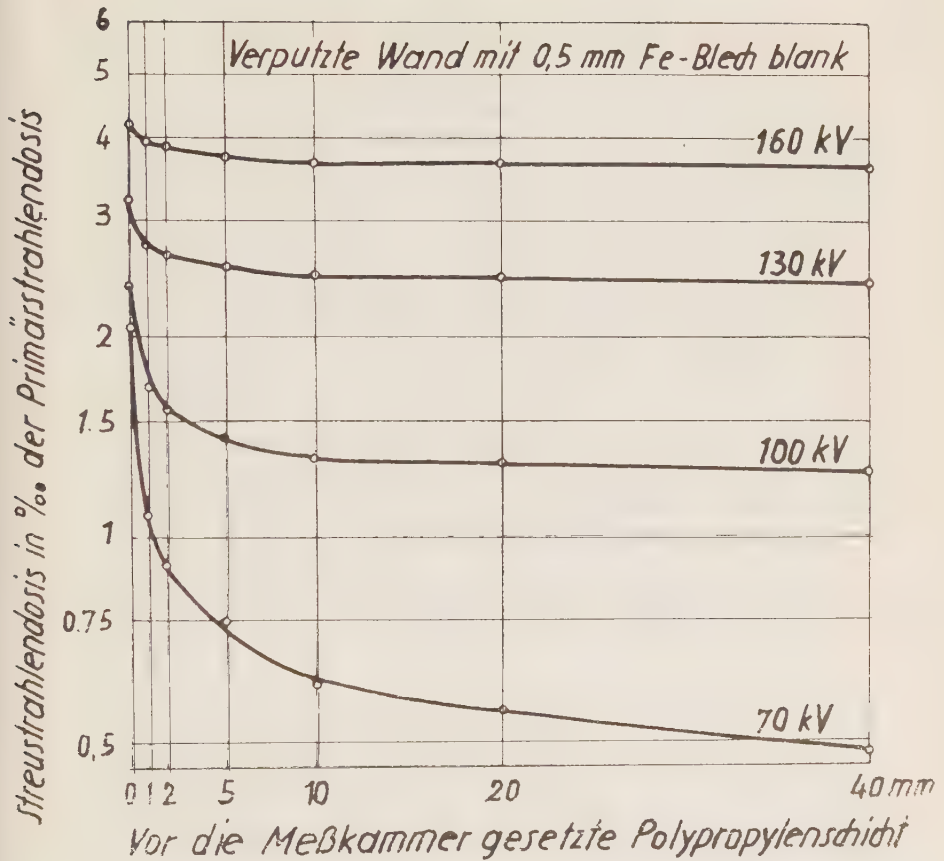


Abb. 21 Dosisabfall der Streustrahlung:
Verputzte Wand mit 0,5 mm Fe-Blech

Annähernd die gleichen Dosisabfallkurven zeigten verputzte Wand mit 0,5 mm Fe-Blech. Hier wurden bei 70 kV Röhrenspannung in 40 mm Gewebetiefe 24 % Streustrahlung gemessen. Sie stieg bei 100 kV auf 51 %, bei 130 kV auf 74 % und erreichte bei 160 kV 85 %.

5. Z U S A M M E N F A S S U N G

Im ersten Teil der Arbeit wurde im Gebiet diagnostischer Strahlungen (Normalstrahlungen von 70 - 160 kV) versucht, den Anteil der Streustrahlung dadurch noch weiter herabzusetzen, daß auf das zur Unterdrückung der Streustrahlung benutzte blanke Fe-Blech von 0,5 mm bis 1 mm Stärke noch weitere Schichten von Stoffen niedriger Ordnungszahl in verschiedener Stärke aufgelegt wurden. Dabei erwies sich - geordnet nach der Wirksamkeit - vor allem Emaille, eine Harzlackschicht, Cellon und Aluminium in Schichten von jeweils 0,25 bis 0,5 mm als nützlich. Der noch erzielbare Gewinn wurde für die untersuchten Strahlenqualitäten experimentell bestimmt und beträgt, bezogen auf die frei in Luft gemessene, von blankem Fe-Blech ausgehenden Streustrahledosen etwa 20 bis 25 %, d. h. daß, wenn die von blankem Fe-Blech ausgehende Streustrahlung mit 100 % bezeichnet wird, durch die Zusatzschichten eine Herabsetzung der Streustrahlung auf 75 - 80 % erreicht wird.

Im zweiten Teil der Arbeit wurden relative Tiefendosen der Streustrahlung verschiedener Anordnungen gemessen. Dabei ergab sich, daß die durch Eisenblechauflage (besonders durch Emailleblech) unterdrückte Streustrahlung vor allem im Gebiet der Durchleuchtungsspannung einen wesentlich steileren Dosisabfall im Gewebe besitzt als die z. B. von einer Ziegelwand ausgehende. Die strahlenschutztechnische Bedeutung der Streustrahlung sparenden Schichten wird somit noch größer als beim Betrachten der Oberflächendosen allein und erreicht bei der gewählten Versuchsanordnung den Faktor 3 (Strahlenrest etwa 33%).

6. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. Hartweg, H.: Strahlenther. 100 (1956), 121-128
2. Boll, J., Koppe, M., Schaaf, J., Trautmann, J.: Strahlenther. 100 (1956), 445-454
3. Tiefel, H.: Diss., Erlangen (1963)
4. Leupold, N.: Diss., Erlangen (1964)
5. Wachsmann, F.: Meyer und Metthes, Die Strahlentherapie (1949)
6. Proppe, A.: Zschr. Hautkrkh. 16 (1954), 289
7. Schirren, C. G.: Arch. Dermat. 199 (1955), 228 und 578
8. Graul, E. H.: Zschr. Hautkrkh. 13 (1952), 201
9. Schreus, H. Th.: Hautarzt 2 (1951), 532
10. Wachsmann, F.: Strahlentherapie 97 (1955), 382
11. Oosterkamp, W. J.: Strahlentherapie 91 (1953), 591
12. Keim, H.: Strahlentherapie 97 (1955), 459
13. Engman, M. F.: Arch. Dermat. 62 (1950), 222
14. Weber, E. P.: Arch. Dermat. 22 (1950), 222
15. Elle, W. G.: Arch. Dermat. 62 (1950), 222

L E B E N S L A U F

Ich wurde am 4. Januar 1940 als Sohn des Postbeamten Johann Zeuß und seiner Frau Margarete Zeuß, geb. Jungkuntz in Vogtendorf Kreis Kronach geboren.

Ab 1946 besuchte ich die Volksschule in Vogtendorf bis 1951.

1951 bestand ich die Aufnahmeprüfung an der Oberrealschule in Kronach, wo ich 1960 das Abitur ablegte.

Die ersten 5 Semester in der med. Fakultät studierte ich an der Universität Erlangen. Im Mai 1963 bestand ich die ärztliche Vorprüfung. Anschließend studierte ich ein Semester an der Med. Akademie in Düsseldorf und kehrte dann wieder nach Erlangen zurück.

Am 1. Sept. 1966 bestand ich das Staatsexamen vor dem ärztl. Prüfungsausschuß in Erlangen.

Zeyern, im November 1966

Manfred Z e u ß

Ich danke Herrn Prof. Dr. F. Wachsmann für
die Überlassung dieser interessanten Arbeit.

